

# Évaluation du débit réservé par méthodes hydrologiques et hydrobiologiques

## Instream flow evaluation by hydrologically-based and habitat preference (hydrobiological) techniques

D. Caissie, N. El-Jabi et G. Bourgeois

Volume 11, numéro 3, 1998

URI : <https://id.erudit.org/iderudit/705311ar>

DOI : <https://doi.org/10.7202/705311ar>

[Aller au sommaire du numéro](#)

Éditeur(s)

Université du Québec - INRS-Eau, Terre et Environnement (INRS-ETE)

ISSN

0992-7158 (imprimé)

1718-8598 (numérique)

[Découvrir la revue](#)

Citer cet article

Caissie, D., El-Jabi, N. & Bourgeois, G. (1998). Évaluation du débit réservé par méthodes hydrologiques et hydrobiologiques. *Revue des sciences de l'eau / Journal of Water Science*, 11(3), 347–364. <https://doi.org/10.7202/705311ar>

### Résumé de l'article

Plusieurs méthodes existent pour calculer le débit réservé d'un cours d'eau. Dans la présente étude deux approches sont analysées, soit les approches par méthodes hydrologiques et hydrobiologiques. Cinq méthodes hydrologiques d'évaluation du débit réservé ont été appliquées au ruisseau Catamaran au Nouveau-Brunswick (Canada), ainsi qu'une méthode hydrobiologique. Parmi les méthodes hydrologiques, on retrouve la méthode de Tennant, celle de 25% du débit moyen annuel (DMA), la méthode du débit médian (Q50) mensuel, 90% du débit classé ( $Q_{90}$ ) et la méthode basée sur l'analyse statistique de fréquence des débits faibles (7Q10). La méthode hydrobiologique utilisée dans la présente étude fut l'application du modèle PHABSIM pour le saumon Atlantique juvénile. Ce modèle est calibré en utilisant les données de vitesse d'écoulement (V), profondeur d'eau (D) et grosseur du substrat (S) pour trois différents débits. L'application des méthodes hydrologiques a démontré que certaines méthodes telle que la méthode Tennant, 25% DMA et la méthode du débit médian, donnent des résultats similaires surtout en période d'étiage. D'autre part, deux méthodes en particulier, soit la méthode de 90% du débit classé et celle basée sur une analyse statistique des débits faibles prédisent un débit réservé très faible en période d'étiage.

Une modélisation de l'habitat physique du ruisseau Catamaran démontre que l'habitat disponible maximal se trouve généralement aux environs du débit moyen. De plus, il a été observé qu'en appliquant les modèles hydrologiques, l'habitat disponible était réduit par rapport à l'habitat maximum prédit par PHABSIM. En effet, l'habitat résultant de l'application de Tennant (30% DMA) et du 25% DMA représente environ 70% de l'habitat disponible maximum. Le débit calculé par la méthode du débit médian correspond à un habitat qui n'est que de 50% de l'habitat disponible maximum, tandis que les méthodes basées sur 90% du débit classé et l'analyse statistique des débits faibles ne représentent plus que des habitats de l'ordre de 20% à 40% de l'habitat disponible maximum. L'application de ces deux dernières méthodes laisse beaucoup de doute sur le niveau de protection des habitats aquatiques qu'elles procurent et il a été jugé utile de ne pas les recommander pour l'évaluation du débit réservé dans la région d'étude. Les autres méthodes (Tennant, 25% DMA et  $Q_{50}$ ) peuvent être utilisées. Cependant, l'application de la méthode du débit médian, qui peut donner des résultats proches de 50% de l'habitat disponible maximum, doit être appliquée avec précaution.

# Évaluation du débit réservé par méthodes hydrologiques et hydrobiologiques

## Instream flow evaluation by hydrologically-based and habitat preference (hydrobiological) techniques

D. CAISSIE<sup>1</sup> \*, N. EL-JABI<sup>2</sup> et G. BOURGEOIS<sup>3</sup>

Reçu le 28 octobre 1996, accepté le 16 janvier 1998\*\*.

### SUMMARY

Many techniques exist to calculate instream flow requirements. This study considers hydrologically-based techniques and hydrobiological or habitat preference methods. The hydrologically-based techniques use only historical streamflow data, and require little or no field work. Conversely, the habitat preference methods require knowledge of the specific hydraulic conditions of the studied water course and the habitat preferences of the relevant fish species.

Five hydrologically-based methods and one habitat preference method were applied to Catamaran Brook, a small drainage basin in New Brunswick, Canada. The hydrologically-based techniques included the Tennant Method, the 25% Mean Annual Flow (MAF), the median monthly flow ( $Q_{50}$ ), the 90% flow duration method ( $Q_{90}$ ) and a low-flow frequency method (7Q10). The habitat preference method studied was the PHABSIM model applied for Atlantic salmon.

The PHABSIM model was calibrated using the hydraulic characteristics of water depth (D), velocity (V) and substrate (S) for three flows. It was then used to calculate the same physical habitat parameters (D, V, S) for other discharges. The hydraulic results were used with habitat preference (suitability curves) to calculate the potential habitat or weighted usable area (WUA).

The application of hydrologically-based in-stream flow techniques showed that methods such as Tennant, 25% MAF and the median monthly flow method provided similar results, especially during low flow periods. The in-stream flow requirement calculated by Tennant Method (30% MAF) was  $0.20 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , for

---

1. Pêches et Océans Canada, CP 5030, Moncton, Nouveau-Brunswick, E1C 9B6.

2. Université de Moncton, Moncton, Nouveau-Brunswick, E1A3E9.

3. Groupe-conseil Génivar inc., 5355 Boulevard des Gradins, Québec, Québec, G2J1C8.

Contribution n° 38 du projet de recherche sur l'habitat du ruisseau Catamaran.

\* Correspondance.

\*\* Les commentaires seront reçus jusqu'au 30 avril 1999.

the month of August with higher values for other months. In contrast, the 90 % flow duration and the low-flow frequency methods established very low discharge for in-stream flow requirements during low-flow periods. The lowest  $Q_{90}$  observed was in September at  $0.050 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  whereas the months of August, July, October, February and March all showed results slightly higher than September but still lower than  $0.10 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . The method that calculated the lowest in-stream flow value was the 7Q10 (low-flow frequency) Method with a discharge of only  $0.037 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . These results ( $Q_{90}$  and 7Q10) represent significantly lower in-stream flow values compared to Tennant, 25 % MAF and the  $Q_{50}$  methods.

The application of a habitat model (PHABSIM) at Catamaran Brook showed that the maximum available habitat, expressed as weighted usable area (WUA), was observed at a discharge close to the mean annual flow. Results also showed more habitat for salmon parr than for fry at maximum available habitat (optimal habitat), and this optimal habitat was at a higher flow for parr than for fry.

The results from hydrologically-based methods were compared to the maximum value derived from the PHABSIM method. This comparative study showed that habitat was reduced by 30 % to 80 % of the maximum WUA calculated by PHABSIM depending upon which hydrologically-based in-stream flow technique was applied. Habitat (WUA) resulting from the Tennant and the 25 % MAF derived flows represents approximately 70 % of the maximum available habitat. Results from the application of the median monthly flow method ( $Q_{50}$ ) showed in-stream flow providing over 50 % of maximum available habitat. The 90 % flow duration method and low-flow frequency method (7Q10) showed habitat values in the range of 20 % to 40 % of maximum. The application of these latter two methods clearly limits the available habitat for the protection of aquatic resources and they were therefore not recommended for use in in-stream flow studies in this region. Instead, methods such as Tennant and 25 % MAF should be used. The  $Q_{50}$  method may be used with caution as its use results in habitat availability slightly over 50 % of maximum WUA.

**Key-words:** *fisheries and aquatic resources, in-stream flow requirements, hydrologically-based techniques, habitat preference method, PHABSIM, habitat modelling.*

## RÉSUMÉ

Plusieurs méthodes existent pour calculer le débit réservé d'un cours d'eau. Dans la présente étude deux approches sont analysées, soit les approches par méthodes hydrologiques et hydrobiologiques. Cinq méthodes hydrologiques d'évaluation du débit réservé ont été appliquées au ruisseau Catamaran au Nouveau-Brunswick (Canada), ainsi qu'une méthode hydrobiologique. Parmi les méthodes hydrologiques, on retrouve la méthode de Tennant, celle de 25 % du débit moyen annuel (DMA), la méthode du débit médian ( $Q_{50}$ ) mensuel, 90 % du débit classé ( $Q_{90}$ ) et la méthode basée sur l'analyse statistique de fréquence des débits faibles (7Q10). La méthode hydrobiologique utilisée dans la présente étude fut l'application du modèle PHABSIM pour le saumon Atlantique juvénile. Ce modèle est calibré en utilisant les données de vitesse d'écoulement (V), profondeur d'eau (D) et grosseur du substrat (S) pour trois différents débits. L'application des méthodes hydrologiques a démontré que certaines méthodes telle que la méthode Tennant, 25 % DMA et la méthode du débit médian, donnent des résultats similaires surtout en période d'étiage. D'autre part, deux méthodes en particulier, soit la méthode de 90 % du débit classé et celle basée sur une analyse statistique des débits faibles présentent un débit réservé très faible en période d'étiage.

Une modélisation de l'habitat physique du ruisseau Catamaran démontre que l'habitat disponible maximal se trouve généralement aux environs du débit

moyen. De plus, il a été observé qu'en appliquant les modèles hydrologiques, l'habitat disponible était réduit par rapport à l'habitat maximum prédit par PHABSIM. En effet, l'habitat résultant de l'application de Tennant (30 % DMA) et du 25 % DMA représente environ 70 % de l'habitat disponible maximum. Le débit calculé par la méthode du débit médian correspond à un habitat qui n'est que de 50 % de l'habitat disponible maximum, tandis que les méthodes basées sur 90 % du débit classé et l'analyse statistique des débits faibles ne représentent plus que des habitats de l'ordre de 20 % à 40 % de l'habitat disponible maximum. L'application de ces deux dernières méthodes laisse beaucoup de doute sur le niveau de protection des habitats aquatiques qu'elles procurent et il a été jugé utile de ne pas les recommander pour l'évaluation du débit réservé dans la région d'étude. Les autres méthodes (Tennant, 25 % DMA et  $Q_{50}$ ) peuvent être utilisées. Cependant, l'application de la méthode du débit médian, qui peut donner des résultats proches de 50 % de l'habitat disponible maximum, doit être appliquée avec précaution.

**Mots clés :** ressources aquatique et halieutique, débit réservé, habitats piscicoles, méthodes hydrologiques, méthodes hydrobiologiques, PHABSIM, modélisation d'habitat.

## INTRODUCTION

Plusieurs projets de développement hydraulique impliquant une utilisation de l'eau peuvent avoir un impact considérable sur les ressources aquatiques et halieutiques (LECLERC *et al.*, 1994 ; VALENTIN *et al.*, 1995). Le Ministère des Pêches et Océans du Canada (MPO) a présenté sa « Politique de gestion de l'habitat du poisson » (PÊCHES et OCÉANS, 1986) dont l'objectif principal est de protéger (aucune perte nette) et d'améliorer (gain net) l'habitat du poisson. Cette politique se veut garante d'une gestion rationnelle des ressources halieutiques au Canada. Le problème majeur de cette protection de l'habitat du poisson se manifeste souvent en période d'étiage et de débits faibles. Dans le but d'instaurer une gestion équilibrée des ressources en eau, prenant compte la préservation du milieu aquatique, il faut statuer sur la mise en place d'un débit minimum biologique communément appelé débit réservé. Ce dernier est évalué en essayant d'estimer les besoins d'habitat pour des espèces de poissons cibles. Ainsi, le respect réglementaire de ce débit peut aller jusqu'à l'interdiction de prise d'eau, lorsque le débit naturel de la rivière devient inférieur au débit réservé. Afin de déterminer le débit réservé, il est nécessaire de bien comprendre les relations entre l'habitat du poisson et le débit, ainsi que les relations entre les densités de poisson et l'habitat disponible.

Un lien entre le débit du cours d'eau et l'habitat physique est créé grâce aux méthodes de modélisation hydraulique. Ces méthodes qui sont principalement du domaine de l'hydrologie, établissent généralement une relation entre le débit et un ou plusieurs paramètres hydrauliques qui sont substitués à l'habitat (ex : le périmètre mouillé, vitesse d'écoulement, etc.). D'autres études portent sur les relations entre l'habitat et la densité du poisson qui sont plutôt du domaine de la biologie. Plusieurs relations ont été développées pour lier ces deux aspects (FAUSCH *et al.*, 1988) et correspondent souvent à des indices de préférence

d'habitat du poisson développés à partir d'observations sur le terrain pour une espèce particulière (BINNS et EISERMAN, 1979). Un lien peut également être établi entre le débit du cours d'eau et la densité du poisson. Ces modèles sont souvent de nature statistique, ce qui les rend moins flexibles au niveau des applications et dans les études d'impacts (FRENETTE *et al.*, 1984).

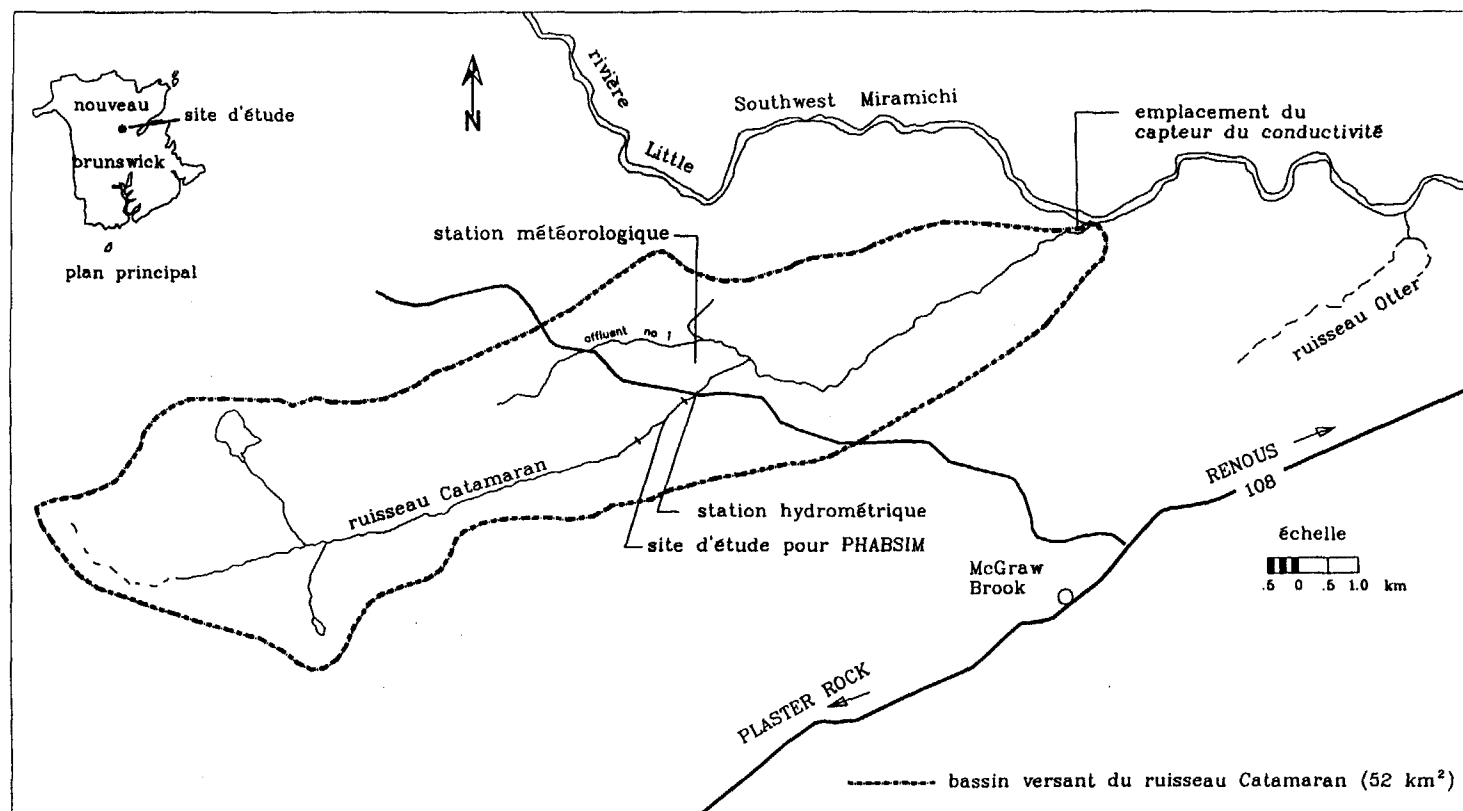
Cette recherche a comme objectif de comparer les résultats de différentes approches d'établissement du débit réservé notamment, l'approche hydrologique (basée sur des données hydrométriques) et l'approche hydrobiologique (basée sur une modélisation de l'habitat du poisson). La détermination du débit réservé par ces méthodes et une comparaison seront effectuées pour le ruisseau Catamaran au Nouveau-Brunswick (Canada).

## MÉTHODES

### Site d'étude

Le ruisseau Catamaran est un affluent de la rivière Little Southwest Miramichi, au centre du Nouveau-Brunswick, Canada (*figure 1*). Le bassin total du ruisseau Catamaran couvre une superficie d'environ 52 km<sup>2</sup>. Il s'agit d'un cours d'eau de troisième ordre selon STRAHLER (1964). L'altitude du ruisseau varie entre 70 mètres au-dessus du niveau moyen de la mer à l'embouchure jusqu'à 330 mètres dans le cours supérieur (CUNJAK *et al.*, 1990). Le cours d'eau principal mesure 20,5 km et a une pente moyenne d'environ 1,27 %. La densité de drainage est de 0,6 km/km<sup>2</sup>. Le bassin versant compte deux lacs, dont le principal est le lac Catamaran avec une superficie de 0,3 km<sup>2</sup> (*figure 1*). On trouve très peu de marécages dans le bassin versant sauf dans le premier affluent (essentiellement les zones inondées derrière les barrages de castor) et dans le secteur en amont, notamment près de l'exutoire du lac Catamaran (*figure 1*). Le bassin du ruisseau Catamaran reçoit annuellement environ 1 142 mm de précipitations dont environ 73 % tombe sous forme de pluie (CUNJAK *et al.*, 1993). La température moyenne de l'air en juillet est de 18,8 °C et celle de janvier descend à -11,8 °C. Le débit moyen au ruisseau Catamaran a été calculé à 0,69 m<sup>3</sup>/s ou 754 mm en lame ruisselée. Les débits forts sont surtout associés aux crues du printemps et peuvent atteindre jusqu'à 13 m<sup>3</sup>/s (3 mai 1991). D'autres débits forts sont également observés à l'automne en fonction des conditions météorologiques. Les débits faibles se présentent ordinairement deux fois par année, soit durant la période estivale et durant l'hiver. Le débit le plus faible mesuré au ruisseau Catamaran était de 0,016 m<sup>3</sup>/s, le 3 septembre 1994.

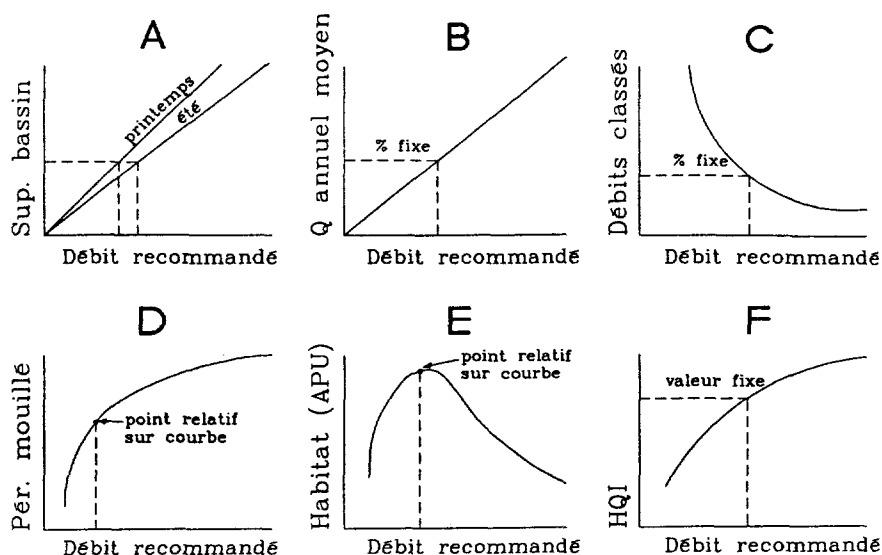
Le saumon de l'Atlantique est l'espèce de poisson la plus commune du ruisseau Catamaran. La montaison des anadromes adultes a lieu de la fin octobre jusqu'au début novembre et la moyenne d'âge des saumoneaux en dévalaison au printemps est de 2 à 3 ans (CUNJAK *et al.*, 1993). Des relevés par pêche électrique démontrent que le ruisseau est l'un des cours d'eau qui produit le plus de saumons de l'Atlantique dans le bassin de la rivière Miramichi (RANDALL, 1981). Des études démontrent que les poissons sont plus nombreux dans les radiers et les rapides durant l'été tandis qu'à l'automne, ceux-ci sont plus nombreux dans les plats (CUNJAK *et al.*, 1993).



**Figure 1** Bassin versant du ruisseau Catamaran avec emplacement des stations hydrométrique et météorologique.  
*Catamaran Brook basin showing the location of hydrometric and meteorological stations.*

## Méthodes d'évaluation des débits réservés

Les premières études dans le domaine de l'évaluation du débit réservé remontent au milieu des années cinquante (CHAMBERS *et al.*, 1955). Par la suite, KELLEY *et al.* (1960) élaborèrent la méthode « California » qui servira de bases aux démarches en vigueur de nos jours. Les modèles de débits réservés peuvent être classifiés selon le type d'approche utilisé pour leur évaluation (EA ENGINEERING, SCIENCE AND TECHNOLOGY INC. 1986 ; *figure 2*). La plupart de ces méthodes utilisent des paramètres hydrologiques (débits moyens, débits classés, etc.) tandis que les autres utilisent des paramètres représentant des conditions d'habitat. Une autre classification souvent utilisée divise les méthodes d'évaluation des débits réservés en deux groupes : les méthodes de bureau (*figure 2a, b et c*) et les méthodes de terrain (*figure 2d, e et f*; WESCHE et RECHARD, 1980).



- A : Le débit réservé est proportionnel à une variable du bassin (ex. superficie).
- B : Le débit réservé est un % fixe du débit annuel moyen.
- C : Le débit réservé est le débit qui est dépassé un % fixe du temps.
- D : Une variable physique est tracée en fonction du débit (ex. périmètre mouillé). Le point de courbure max est le débit recommandé.
- E : Les variables physiques sont transformées par liens biologiques en un indice non-dimensionnel (ex. Aire pondérée utilisable) et tracées en fonction du débit.
- F : Les variables physiques, chimiques ou biologiques sont transformées en un indice non-dimensionnel (ex. HQI). Le débit recommandé est celui qui correspond à une valeur particulière du HQI.

**Figure 2** Classification des méthodes d'évaluation des débits réservés (adapté de EA Engineering, Science and Technology Inc., 1986).

*Classification of instream flow methods (adapted from EA Engineering, Science and Technology Inc., 1986).*

La classification utilisée dans la présente recherche a été proposée par IEC BEAK CONSULTANTS LTD. (1985), qui subdivisent les méthodes en trois groupes : les méthodes hydrologiques, les méthodes hydrauliques et les méthodes hydro-biologiques.

Les méthodes hydrologiques correspondent aux méthodes de bureau de la classification WESCHE et RECHARD (1980). Elles sont basées sur une analyse des séries chronologiques des débits, sans étudier en détail l'aspect hydraulique ou biologique pour l'évaluation des débits réservés. Cette approche se caractérise par sa simplicité, sa rapidité d'évaluation, sa flexibilité d'application et de régionalisation, ce qui permet une détermination des débits réservés pour des rivières non jaugées.

Les méthodes hydrauliques sont basées sur une analyse des caractéristiques hydrauliques d'un site spécifique du cours d'eau (HAMILTON et KOSAKOSKI, 1982). Elles introduisent une corrélation implicite entre certaines caractéristiques hydrauliques (périmètre mouillé, par exemple) et l'habitat du poisson.

Finalement, les méthodes hydrobiologiques, telles que l'approche IFIM (Instream Flow Incremental Methodology ; BOVEE, 1982), sont les plus complètes et les plus élaborées pour évaluer les débits réservés. Elles introduisent, outre les caractéristiques hydrauliques (la profondeur, la vitesse d'écoulement et le type de substrat) et hydrologiques, des paramètres biologiques afin de calculer la qualité et la disponibilité de l'habitat d'une espèce particulière (BOVEE, 1982). Cette approche est basée sur une relation débit-habitat qui permet l'introduction d'un aspect temporel inexistant dans les approches antérieures. Par contre, cette méthode exige un niveau d'expertise plus élevé, sans mentionner le coût et les ressources à consacrer aux mesures sur le terrain.

Parmi les méthodes utilisées pour calculer les débits réservés, les méthodes hydrologique et hydrobiologique, plus précisément la méthode Tennant (hydrologique) et la méthode IFIM (hydrobiologique) sont les plus souvent utilisées en Amérique du nord (REISER *et al.*, 1989).

### **Évaluation des débits réservés par méthodes hydrologiques**

Notre recherche s'est limitée à l'évaluation des débits réservés par cinq méthodes hydrologiques : 1) Tennant ; 2) 25 % du Débit Moyen Annuel (DMA) ; 3) débit médian mensuel ( $Q_{50}$ ) et débit aquatique de base « Aquatic Base Flow – ABF » ; 4) 90 % du débit classé ( $Q_{90}$ ) et 5) par approche statistique des débits faibles (7Q10).

#### **Méthode Tennant**

Cette méthode est basée sur une analyse détaillée d'une relation entre un pourcentage du débit moyen annuel (DMA) et les caractéristiques hydrauliques et physiques des cours d'eau (TENNANT, 1976). Le tableau 1 présente les différentes situations de débits réservés telles que proposées par Tennant. L'avantage de présenter une saisonnalité des recommandations (tableau 1) est d'assurer le débit minimum en période d'étiage (octobre-mars) et de permettre un nettoyage (particules fines) du cours d'eau en période de débits forts (avril-septembre). Il suffit donc de déterminer le débit moyen annuel à l'aide de données historiques. La méthode de Tennant est simple, facile à utiliser et elle est généralement recommandée pour les études préliminaires ou régionales. Dans la présente étude, la « situation excellente » est choisie (i.e., 30 % DMA pour la période octobre à mars et 50 % DMA du mois d'avril à septembre). Dans la pratique, 30 % du DMA sur une base annuelle est souvent utilisé comme recommandation pour le débit réservé (REISER *et al.*, 1989), car les conditions hydrologiques locales de débit fort et faible peuvent être différentes de celle du Montana (TENNANT, 1976).



**Tableau 1** Débit recommandé en % du débit moyen annuel selon la méthode Tennant (TENNANT, 1976).

**Table 1** *Recommended flow as a percentage of mean annual flow by Tennant method (TENNANT, 1976).*

Situation du débit	Débits réservé recommandé en % DMA*	
	octobre-mars	avril-septembre
Situation de crue	200	200
Situation optimale	60-100	60-100
Situation supérieure	40	60
Situation excellente	30	50
Situation bonne	20	40
Situation acceptable ou dégradée	10	30
Situation pauvre ou minimale	10	10
Situation dégradée	< 10	< 10

\* DMA = débit moyen annuel.

### Débit réservé correspondant à 25 % du DMA

Cette méthode est la plus répandue dans la région du Canada Atlantique et elle repose sur le fondement de la méthode TENNANT (1976). Les DMA sont en général fournis par ENVIRONNEMENT CANADA (1989) et le quart de ce débit est alors exigé comme minimum pour assurer une vie aquatique convenable indépendamment de la saison ou de l'espèce. L'avantage d'un pourcentage fixe est la facilité de contrôle des ouvrages hydrauliques et de l'inspection requise pour satisfaire aux exigences des agences gouvernementales (GEER, 1980).

### Méthode de débit mensuel médian et débit aquatique de base

Développée pour la région de la Nouvelle-Angleterre, cette méthode fut préparée par le « US Fish and Wildlife Service » (USFWS, 1981). Lorsqu'il s'agit d'un cours d'eau pour lequel la superficie du bassin versant est plus grande que 130 km<sup>2</sup>, et où l'on possède un nombre d'années de données hydrologiques supérieur à 25 ans, le débit réservé se calcule en utilisant le débit mensuel médian pour chaque mois. Le débit médian pour le mois d'août est un cas particulier de cette méthode que l'on appelle le débit aquatique de base (*Aquatic Base Flow* – ABF). Le mois d'août est choisi comme indice pour l'évaluation du débit réservé car ce mois est souvent le plus problématique en matière de débit faible (i.e. habitat limité) et présente une température de l'eau assez élevée dans les cours d'eau. Lorsque les données hydrométriques n'existent pas ou proviennent de courtes séries, ou encore, que le bassin versant a moins de 130 km<sup>2</sup>, on utilise une valeur régionale du débit aquatique de base calculée à 0,0055 m<sup>3</sup>/s par km<sup>2</sup> (0,5 pi<sup>3</sup>/s/mi<sup>2</sup>) du bassin versant (USFWS, 1981).

Suivant les recommandations de KULIK (1990), au lieu d'utiliser le débit mensuel médian, le débit journalier médian de chaque mois ( $Q_{50}$ ) y compris celui du mois d'août (débit aquatique de base) a été calculé. La courbe mensuelle de débits classés du ruisseau Catamran a été calculée à l'aide du logiciel FLODUR (CAISSIE, 1991) et le débit réservé mensuel est celui qui correspond à 50 % de

probabilité de dépassement. Le débit réservé à partir de la superficie (i.e. 0,0055 m<sup>3</sup>/s par km<sup>2</sup>) a également été évalué pour des fins de comparaison.

### **Méthode basée sur la courbe de débits classés à 90 %**

Cette méthode consiste à tracer les courbes de débits journaliers classés pour chaque mois de l'année et ceci pour la période d'analyse existante. Une fois les courbes développées, les débits réservés sont choisis d'après un pourcentage de dépassement. Basée sur la méthode Northern Great Plains Resource Program (1974), elle requiert au moins 20 ans de données hydrométriques qui sont utilisées pour faire des recommandations pour un débit minimum mensuel. Une analyse statistique de chaque mois permet d'éliminer les mois avec des débits anormaux (crues, étiages). Le débit minimum recommandé pour chaque mois est donné par le débit dépassé 90 % du temps (90<sup>e</sup> centile). Dans le cadre de cette étude, le pourcentage 90 % a également été choisi, mais aucune élimination des mois anormaux n'a été effectuée. Il a été jugé préférable de conserver le même échantillon de données pour l'application des différentes méthodes et ainsi les comparer.

### **Méthode basée sur l'analyse statistique des débits faibles (7Q10)**

Cette méthode consiste à analyser statistiquement l'échantillon de débit minimum moyen correspondant à une durée de 7 jours. Le débit réservé est celui qui correspond au débit minimum pour une moyenne de 7 jours consécutifs avec une période de récurrence de 10 ans (CHIANG et JOHNSON, 1976). La fonction de répartition des valeurs extrêmes type III a été choisie pour évaluer ces débits (KITE, 1978). Cette valeur assure en période d'étiage une dilution dite acceptable des rejets des eaux polluantes dans les cours d'eau. En effet, d'après REISER *et al.* (1989) cette méthode est souvent utilisée pour estimer un débit réservé lorsque la qualité de l'eau est le facteur limitant pour l'habitat du poisson.

### **Évaluation des débits réservés par la méthode hydrobiologique**

La méthode des microhabitats (hydrobiologique) a été conçue afin de quantifier l'habitat pour différents régimes d'écoulement et a fait l'objet de plusieurs études (POUILLY *et al.*, 1995 ; SCRUTON *et al.*, 1996). Cette méthode permet également de choisir entre différents compromis d'utilisation des ressources en eau. La composante principale de la méthode IFIM est le modèle PHABSIM (Physical Habitat Simulation, MILHOUS *et al.*, 1989). La méthode PHABSIM a comme objectif principal d'établir une relation entre le débit d'un cours d'eau et l'habitat physique à différentes phases de vie de diverses espèces de poissons. Dans certains cas, le débit et les activités récréatives sont également étudiés. La méthode PHABSIM est applicable lorsque l'habitat physique est le facteur limitant pour la population de poisson, et si les conditions sur le terrain (i.e. type d'écoulement, mobilité du substrat, etc.) sont compatibles avec les hypothèses de base du modèle (MILHOUS *et al.*, 1989). L'application de la méthode PHABSIM est effectuée en mesurant des variables reliées à l'habitat du poisson telles que la profondeur d'eau, la vitesse d'écoulement et le substrat. Ces variables sont mesurées le long de sections transversales formant ainsi plusieurs cellules dont l'habitat est considéré représentatif. L'habitat disponible (Aire Pondérée Utilisable – APU) pour chaque cellule est calculé à partir des caractéristiques hydrauliques du milieu (vitesse, profondeur et substrat), ainsi que le degré de préférence du poisson pour ces paramètres. La disponibilité totale de l'habitat pour un site est obtenue par la sommation de l'habitat de chaque cellule. Les courbes de préférence

d'habitat sont établies sur le terrain par des observations sous l'eau pour différents espèces et stades de développement (BOVEE, 1986).

Lorsque la relation débit-habitat est établie, le débit réservé peut être obtenu en observant le changement d'habitat avec le débit. Dans la pratique, le débit réservé est souvent choisi au point où une diminution rapide de l'habitat est observée pour une faible diminution du débit. Ce point est appelé point de courbure maximum.

Dans la présente étude, la méthode PHABSIM fut appliquée sur trois types d'habitat (faciès), soit les rapides, les seuils et les plats. Ces différents types d'habitat sont caractérisés par des écarts dans les paramètres hydrauliques (profondeur, vitesse d'écoulement, substrat, pente) tel que présenté par CUNJAK *et al.* (1993). Deux faciès de même type (rapides, seuils et plats) ont été systématiquement échantillonnés au moyen de 5 sections transversales, soit un total de 6 faciès (30 sections transversales). Chaque faciès a été choisi de façon discrète et sur chacune des sections transversales, les données (vitesse, profondeur, et substrat) ont été recueillies à 0,5 m d'intervalle ce qui donne une vingtaine de points par section (BOURGEOIS, 1992). Afin de calibrer PHABSIM, les données ont été recueillies pour trois débits différents, soit un débit faible ( $0,15 \text{ m}^3/\text{s}$ ), moyen ( $0,6 \text{ m}^3/\text{s}$ ) et fort ( $3,0 \text{ m}^3/\text{s}$ ). Par la suite, les données relatives aux autres débits ont été simulées. L'habitat potentiel ou l'aire pondérée utilisable (APU) a été calculé en couplant les simulations physiques avec des courbes de préférence d'habitat pour le saumon de l'Atlantique. Ces courbes proviennent de MORANTZ *et al.* (1987) et leur validation pour le ruisseau Catamaran est présentée par BOURGEOIS *et al.* (1996). Les résultats de l'habitat potentiel en fonction du débit ont été obtenus en combinant les 6 faciès en un seul tronçon du cours d'eau afin de mieux représenter l'habitat global.

Le calcul du débit réservé a été effectué par les différentes méthodes hydrologiques et hydrobiologiques. Le calcul a été effectué sur le tronçon médian du bassin versant du ruisseau Catamaran, situé près de la station hydrométrique (figure 1). Afin de mieux déterminer les débits réservés, les données hydrométriques de la rivière Renous ont également été utilisées en raison du nombre limité d'années d'observation au ruisseau Catamaran (5 années). La rivière Renous est localisée à proximité du ruisseau Catamaran et le débit unitaire (débit par unité de surface) des deux cours d'eau démontre une très bonne similitude (CAISSIE *et al.*, 1992).

## RÉSULTATS

La première méthode utilisée est celle de Tennant (tableau 1). En effectuant le calcul de 30 % du débit moyen annuel ( $0,65 \text{ m}^3/\text{s}$ ) à la station hydrométrique, on obtient une valeur de  $0,20 \text{ m}^3/\text{s}$  par cette méthode (tableau 2). La deuxième méthode, 25 % du DMA, conduit à une valeur de  $0,16 \text{ m}^3/\text{s}$ . La troisième méthode est celle du débit médian mensuel. Le débit médian pour le mois d'août ou débit aquatique de base (ABF) pour le ruisseau Catamaran a été calculé à  $0,13 \text{ m}^3/\text{s}$ . De plus, on peut observer que ce débit représente le  $Q_{50}$  mensuel le plus faible de l'année (tableau 2) et qu'il est similaire à celui ( $Q_{50}$ ) du mois de septembre ( $0,15 \text{ m}^3/\text{s}$ ). Lorsqu'on applique au ruisseau Catamaran la valeur

régionale du débit aquatique développée en Nouvelle-Angleterre de  $0,0055 \text{ m}^3/\text{s}$  par  $\text{km}^2$ , on obtient un débit réservé de  $0,15 \text{ m}^3/\text{s}$  ce qui est près de la valeur calculée par la courbe de débits classés.

**Tableau 2** Évaluation du débit réservé ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) par les méthodes hydrologiques au ruisseau Catamaran (NB) pour différents mois de l'année.

**Table 2** Monthly instream flow values ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) by hydrologically-based techniques at Catamaran Brook (NB).

Méthode	Mois											
	J	F	M	A	M	J	J	A	S	A	N	D
Tennant (30 % DMA*)	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
25 % DMA	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16
50 % du débit classé ( $Q_{50}$ )	0,19	0,17	0,21	1,23	1,56	0,40	0,19	0,13	0,15	0,26	0,42	0,37
90 % du débit classé ( $Q_{90}$ )	0,12	0,088	0,083	0,32	0,56	0,18	0,098	0,053	0,050	0,085	0,13	0,16
Débits faibles (7Q10)	0,037	0,037	0,037	0,037	0,037	0,037	0,037	0,037	0,037	0,037	0,037	0,037

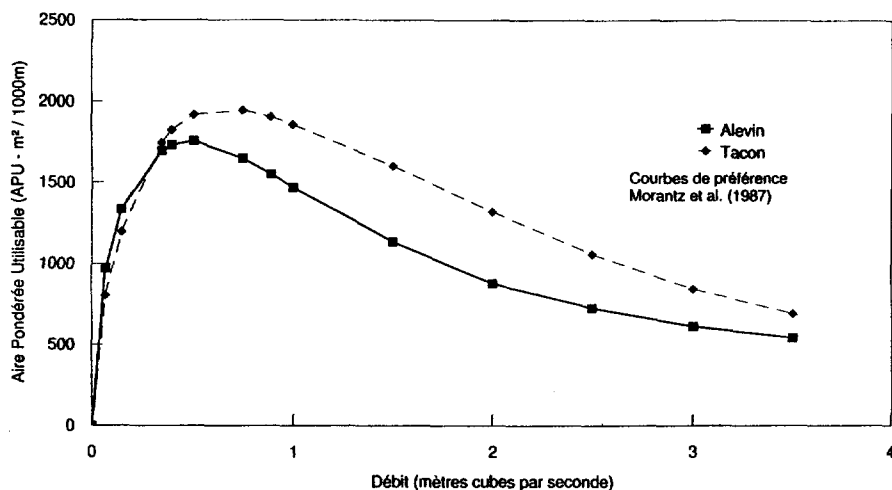
\* DMA = débit moyen annuel.

La quatrième méthode est celle du débit classé journalier évalué à 90 % de probabilité de dépassement. Pour le mois d'août, ce débit a été calculé à  $0,053 \text{ m}^3/\text{s}$  tandis que les résultats pour les autres mois sont présentés au tableau 2. Avec cette méthode, le débit  $Q_{90}$  du mois de septembre ( $0,050 \text{ m}^3/\text{s}$ ) est légèrement inférieur à celui du mois d'août. Il est à noter que les résultats par cette méthode sont du tiers de ceux du  $Q_{50}$  pour ces mêmes mois et d'environ 8 % seulement du DMA.

La cinquième et dernière méthode est celle basée sur l'évaluation statistique des débits faibles (7Q10). Dans le cas du ruisseau Catamaran, ce débit réservé est égal à  $0,037 \text{ m}^3/\text{s}$ . Le débit réservé par cette méthode est le plus faible de toutes les méthodes hydrologiques. Lorsque ce débit est comparé avec le DMA du ruisseau Catamaran, il a été observé qu'il ne représente que 6 % du débit moyen.

Les résultats de PHABSIM sont présentés à la figure 3 pour les alevins et les tacons du saumon de l'Atlantique. Au ruisseau Catamaran, l'habitat maximum pour les tacons est de  $1\,947 \text{ m}^2/1\,000 \text{ m}$  tandis que l'habitat disponible maximum pour les alevins est légèrement inférieur à  $1\,760 \text{ m}^2/1\,000 \text{ m}$ . Les résultats de la méthode PHABSIM indiquent une diminution importante de l'habitat potentiel pour un débit inférieur au débit qui correspond à l'habitat disponible maximum. Pour les débits forts, une diminution de l'habitat disponible est présente, mais de façon moins prononcée que les débits faibles (figure 3).

Au ruisseau Catamaran, l'habitat disponible maximum correspond respectivement à un débit de  $0,75 \text{ m}^3/\text{s}$  pour les tacons et à  $0,51 \text{ m}^3/\text{s}$  pour les alevins. En effet, l'habitat maximum du secteur étudié se retrouve à un débit d'environ 115 % du DMA pour les tacons et d'environ 78 % du DMA pour les alevins, soit des valeurs proches du débit moyen annuel.



**Figure 3** Résultats de la modélisation par PHABSIM de l'habitat physique au ruisseau Catamaran (NB) pour deux stades de développement (alevin et tacon) du saumon de l'Atlantique.

*Results of the physical habitat modeling by PHABSIM at Catamaran Brook (NB) for two life stages of Atlantic salmon (fry and parr).*

La méthode de débit réservé donnant un débit le plus près de l'habitat disponible maximum est celle de Tennant avec le débit réservé le plus fort (0,20 m<sup>3</sup>/s). Ce débit ne représente que 39 % du débit qui correspond à l'habitat disponible maximum pour les alevins (27 % pour les tacons). Le tableau 3 présente une comparaison entre les méthodes hydrologiques et hydrobiologiques en fonction de l'habitat disponible maximum pour le saumon de l'Atlantique. Il a été noté que les méthodes hydrologiques produisent un débit réservé variant entre 81 % et 22 % de l'habitat disponible maximum dépendant de la méthode et du stade de développement. Les pourcentages en habitats disponibles maximums sont systématiquement plus faibles pour les tacons que pour les alevins (tableau 3).

**Tableau 3** Comparaison des différents débits en fonction de l'habitat physique prédit par PHABSIM pour le saumon de l'Atlantique.

**Table 3** Comparison of different discharges as a function of predicted physical habitat for Atlantic Salmon using PHABSIM.

Méthodes	Aire Pondérée Utilisable (APU - m <sup>2</sup> /1 000 m) et pourcentage (%) de l'APU maximum			
	Alevin		Tacon	
APU maximum	1 760	100 %	1 947	100 %
Tennant (avec 30 % DMA*)	1 427	81 %	1 334	69 %
25 % DMA	1 354	77 %	1 224	63 %
Q <sub>50</sub> (mois d'août)	1 246	71 %	1 099	56 %
Q <sub>90</sub> (mois d'août)	696	40 %	576	30 %
7Q10	515	29 %	426	22 %

## DISCUSSION

Lors de l'évaluation du débit réservé avec l'approche hydrobiologique, les gestionnaires de ressources halieutiques doivent choisir un régime de débit à l'aide de la courbe APU-débit afin de répondre aux objectifs de protection de l'habitat disponible. Chaque projet doit être évalué comme un cas particulier car lorsque l'habitat de certaines espèces s'avère limitant, le poids d'une courbe particulière peut jouer un rôle important dans la décision. Dans le cas du ruisseau Catamaran, l'habitat du saumon de l'Atlantique est considéré aussi important pour les tacons que les alevins, c'est pourquoi les résultats sont présentés pour les deux stades de vie. L'habitat disponible maximum se situe à un débit entre  $0,51 \text{ m}^3/\text{s}$  à  $0,71 \text{ m}^3/\text{s}$  dépendant du stade de vie du saumon (*figure 3*), soit près du débit annuel moyen (DMA). Les tacons étant plus gros, ils sont aussi plus tolérants aux vitesses d'écoulement plus élevées. D'autre part, pour les débits faibles, les alevins possèdent un habitat potentiel supérieur à celui des tacons qui est sans doute relié aux profondeurs d'eau faibles comme facteur limitant pour ces derniers.

Il est à noter que d'autres espèces de poisson peuvent avoir un habitat potentiel maximum différent en fonction du débit moyen (LEONARD et ORTH, 1988). Dans leur étude du ruisseau Dunlop (Virginie), ils identifièrent quatre types de courbe APU. Dans le premier type de courbe, l'APU part de zéro et augmente avec le débit pour atteindre un maximum aux environs du DMA ; l'APU diminue par la suite en fonction du débit. Le deuxième type de courbe observé est similaire au premier sauf que l'APU maximum se trouve à environ 50 % du DMA. Le troisième type de courbe, l'APU maximum se situe aux débits d'étiage et diminue rapidement avec une augmentation du débit. Le quatrième type de courbe observé possède également l'APU maximum au débit d'étiage, par contre l'APU diminue graduellement avec un débit croissant. Il a été remarqué que le saumon de l'Atlantique au ruisseau Catamaran possède un comportement semblable au premier type de courbe observé par LEONARD et ORTH (1988), c'est-à-dire avec un APU maximum près du DMA. Ceci suggère que le saumon de l'Atlantique est sensible aux débits d'étiage avec un APU maximum à un débit supérieur aux autres types de courbe.

En observant les résultats à l'aide du modèle PHABSIM, on remarque que pour un débit inférieur à environ  $0,3 \text{ m}^3/\text{s}$ , soit la moitié du débit annuel moyen, il y a diminution rapide de l'habitat physique potentiellement disponible tant pour les alevins que les tacons. Cette valeur représente le point de courbure maximal. Par conséquent, face à un projet de développement hydraulique, un gestionnaire pourrait statuer qu'un débit minimum de  $0,3 \text{ m}^3/\text{s}$  dans le tronçon médian du ruisseau Catamaran serait exigé en période de croissance des saumons Atlantiques juvéniles. Rappelons que les courbes de préférence de MORANTZ *et al.* (1987) ont été développées pour la période de croissance des juvéniles.

En comparant les méthodes étudiées, il est à noter que toutes les méthodes hydrologiques conduisent à un débit qui est inférieur au débit qui correspond à l'habitat disponible maximum (*tableau 3*). En donnant des résultats de 81 % de l'habitat disponible maximum pour les alevins et de 69 % pour les tacons (*tableau 3*), la méthode Tennant apparaît comme la plus conservatrice. L'habitat des tacons serait moins protégé que celui des alevins. Les méthodes 25 % DMA

et  $Q_{50}$  mèneraient à protéger moins d'habitat que la méthode Tennant, tout en démontrant des valeurs supérieures à 71 % de l'habitat disponible maximum pour les alevins. Il faut faire attention dans l'application de la méthode  $Q_{50}$  en période d'étiage (août, septembre) pour les tacons, car l'habitat disponible ne représente qu'environ un peu plus de 50 % de l'habitat potentiel maximum (tableau 3). De plus, le  $Q_{50}$  ( $0,13 \text{ m}^3/\text{s}$ ) durant cette période ne représente que 20 % du DMA. Les méthodes  $Q_{90}$  et 7Q10 donnent des résultats très inférieurs à toutes les autres avec moins de 40 % de l'habitat maximum. Sans considérer la méthode PHABSIM comme méthode de référence, il a été observé que les résultats de la méthode  $Q_{90}$  et 7Q10 conduisent à un débit extrêmement faible avec une réduction significative du lit mouillé au ruisseau Catamaran (observation personnelle).

Dans une comparaison de méthodes hydrologique (30 % DMA) et hydrobiologique (APU ; PHABSIM), les résultats de ESTES et ORSBORN (1986) ont démontré que le 30 % DMA ne représentait que 37 % de l'habitat maximum disponible pour le saumon Chinook au ruisseau Willow en Alaska. Dans leur étude, ils remarquèrent que l'habitat maximum se trouvait à 170 % du DMA en considérant la vitesse, la profondeur et le substrat comme paramètres de modélisation par PHABSIM. D'autre part, les résultats de SOUCHON *et al.* (1989) démontrèrent que l'APU maximum pour la truite fario (adulte et juvénile) se trouvait à un débit faible comparativement au DMA. Effectivement, pour un cours d'eau encaissé dans une gorge de calcaire en France, l'APU maximum a été observé aux environs de  $1,8 \text{ m}^3/\text{s}$  comparativement au DMA de  $9 \text{ m}^3/\text{s}$ , soit environ 20 % du DMA (SOUCHON *et al.*, 1989). Dans le cas de ce ruisseau en France, les résultats de la méthode Tennant à 30 % du DMA se comparent très bien avec le débit à l'APU maximum. Ceci démontre que différents cours d'eau avec des espèces cibles différentes peuvent donner des résultats également différents.

En conclusion, cette recherche démontre que l'habitat disponible maximum au ruisseau Catamaran se situe à un débit proche du débit moyen annuel (DMA) pour les sites étudiés. L'application de la méthode Tennant et du 25 % DMA permettrait de maintenir l'habitat maximum pour les saumons de l'Atlantique juvéniles, ce qui rend ces méthodes préférables dans une logique de définition des débits réservés. Lorsqu'une méthode d'évaluation du débit réservé donne des résultats inférieurs à 50 % de l'habitat maximum disponible et/ou moins que 10 % du DMA, il faut se poser des questions au niveau de la protection de l'habitat aquatique. Tel est le cas pour la méthode du débit classé ( $Q_{90}$ ) et pour la méthode basée sur l'analyse statistique de la fréquence des débits faibles (7Q10). Nous pensons que ces deux dernières méthodes ne doivent pas être utilisées à des fins de calcul du débit réservé surtout dans notre région d'étude. Cette sous-estimation représente une diminution notable de l'habitat disponible.

Il est à noter que dans l'application des méthodes de débits réservés, il est nécessaire de bien connaître les limites d'application des modèles utilisés, car quelle que soit la complexité du modèle, celui-ci ne pourra jamais remplacer une bonne connaissance des caractéristiques hydrauliques et biologiques du cours d'eau étudié.

## REMERCIEMENTS

Les auteurs tiennent à remercier le Conseil de Recherches en Sciences Naturelles et en Génie du Canada et Pêches et Océans, Moncton, NB, pour leur support financier durant la réalisation de cette étude. Nous remercions également Environnement Canada pour les données hydrométriques.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BINNS N.A., EISERMAN F.M., 1979. Quantification of fluvial trout habitat in Wyoming. *Trans. Amer. Fish. Soc.*, 108, 215-228.
- BOURGEOIS G., 1992. Modélisation de l'habitat physique du saumon de l'atlantique avec PHABSIM : cas du ruisseau Catamaran, thèse de maîtrise, Université de Moncton, Moncton, Nouveau-Brunswick, 124 p.
- BOURGEOIS G., CUNJAK R.A., CAISSIE D., EL-JABI N., 1996. A spatial and temporal evaluation of PHABSIM in relation to measured density of juvenile Atlantic salmon in a small stream. *N. Am. J. Fish. Manag.*, 16, 154-166.
- BOVEE K.D., 1982. A guide to stream habitat analysis using the instream flow incremental methodology, Instream Flow Information Paper n° 12, FWS/OBS-82/26, Cooperative Instream Flow Service Group, US Fish and Wildlife Service, Fort Collins, CO, 249 p.
- BOVEE K.D., 1986. Development and evaluation of habitat suitability criteria for use in the Instream Flow Incremental Methodology, Instream Flow Information Paper n° 21, US Fish and Wildlife Service, Fort Collins, CO, *Biol. Rep.*, 86(7), 235 p.
- CAISSIE D., 1991. A computer software package for instream flow analysis by the flow duration method. *Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci.*, 1812, 21 p.
- CAISSIE D., EL-JABI N., CUNJAK R.A., BOURGEOIS G., 1992. Étude hydro-biologique du bassin Catamaran (NB), Compte rendu de symposium canadien d'Hydrologie n° 19, 1992, 15-17 juin, 1992, Winnipeg, Manitoba, pp. 407-422.
- CHAMBERS J.S., ALLEN G.H., PRESSEY R.T., 1955. Research Relating to Study of Spawning Grounds in Natural Areas, Annual Report, 1955 : Washington Department of Fisheries. Olympia, WA.
- CHIANG S.L., JOHNSON F.W., 1976. Low flow criteria for diversions and impoundments, *J. Water Res. Plan. Manag. Div.*, ASCE 102 (WR2), 227-238.
- CUNJAK R.A., CAISSIE D., EL-JABI N., 1990. The Catamaran Brook Habitat Research Project : Description and General Design of Study. *Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci.*, 1751, 14 p.
- CUNJAK R.A., CAISSIE D., EL-JABI N., HARDIE P., CONLON J.H., POLLOCK T.L., GIBERSON D.J., KOMADINA-DOUTHWRIGHT S., 1993. The Catamaran Brook (New Brunswick) Habitat Research Project : Biological, Physical and Chemical Conditions (1990-1992). *Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci.*, 1914, 81 p.
- EA ENGINEERING, SCIENCE AND TECHNOLOGY INC., 1986. Instream flow methodologies. Research Project 2194-2. Report prepared for the Electric Power Research Institute, Palo Alto, CA. 12 chapters and 1 appendix.
- ENVIRONMENT CANADA, 1989. Historical Streamflow Summary : Atlantic Provinces 1988, Inland Waters Directorate, Water Resources Branch. Ottawa, 274 p.
- ESTES C.C., ORSBORN J.F., 1986. Review and analysis of methods for quantifying instream flow requirements, *Water Resources Bulletin*, 22, 389-398.



- FAUSCH K., HAWKES C., PARSONS M., 1988. Models that predict standing crop of fish from habitat variables : 1950-1985, Gen. Tech. Rep. PNWT-GTYR-213, USDA, Portland, OR, 52 p.
- FRENETTE M., CARON M., JULIEN P., GIBSON R.J., 1984. Interaction entre le débit et les populations de tacons (*Salmo salar*) de la rivière Matamec, Québec, *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 41, 954-963.
- GEER W.H., 1980. Evaluation of Five Instream Flow Needs Methodologies and Water Quantity Needs of Three Utah Trout Streams, U.S. Fish and Wildlife Service and Utah Division of Wildlife Resources, Publication n° 80-20, 227 p.
- HAMILTON R.E., KOSAKOSKI G.T., 1982. Water Requirements for the Fisheries Resource of the Englishman River, Vancouver Island, B.C. *Can. Man. Rep. Fish. and Aquat. Sci.*, 1676, 42 p.
- IEC BEAK CONSULTANTS LTD, 1985. Instream Flow Needs for Fish below Hydro-power Facilities in Canada : A Management Guide to Assessment Methods, Report prepared for the Canadian Electric Association, Suite 580, 1 Westmount Square, Montréal, Québec, H3Z 2P9, 89 p.
- KELLEY D., CORDONE A., DELISLE G., 1960. A Method to Determine the Volume of Flow Required by Trout Below Dams : A Proposal for Investigation, California Dept. of Fish and Game.
- KITE G.W., 1978. Frequency and Risk Analysis in Hydrology, Water Resources Publications, Fort Collins, CO, 224 p.
- KULIK B., 1990. A method to refine the New England aquatic base flow policy. *Rivers*, 1, 8-22.
- LECLERC M., BOURDREAU P., BECHARA J., BELZILE L., VILLENEUVE D., 1994. Modélisation de la dynamique de l'habitat des jeunes stades de saumon atlantique (*Salmo salar*) de la rivière Ashuapmushuan (Québec, Canada). *Bull. Fr. Pêche Piscic.*, 332, 11-32.
- LEONARD P.M., ORTH D.J., 1988. Use of habitat guilds of fishes to determine instream flow requirements. *N. Am. J. Fish. Manag.*, 8, 399-409.
- MILHOUS R., UPDIKE M., SNYDER D., 1989. PHABSIM system reference manual : version 2, Instream Flow Information Paper n° 26, US Fish and Wildlife Service FWS/OBS 89/16. 8 chapters and 6 appendix.
- MORANTZ D.L., SWEENEY R.K., SHIRVELL C.S., LONGARD D.A., 1987. Selection of microhabitat in summer by juvenile Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 44, 120-129.
- NORTHERN GREAT PLAINS RESOURCE PROGRAM (NGPRP), 1974. Instream Needs Sub-Group Report, Work Group C. Water, 35 p.
- PÊCHES et OCÉANS, 1986. Politique de Gestion de l'Habitat du Poisson, MPO/3209, Ottawa, 29 p.
- POUILLY M., VALENTIN S., CAPRA H., GINOT V., SOUCHON Y., 1995. Méthodes des microhabitat : principes et protocoles d'application. *Bull. Fr. Pêche Piscic.*, 336, 41-54.
- RANDALL R.G., 1981. Production rate of juvenile Atlantic Salmon (*Salmo salar* L.) in relation to available food in two Miramichi River, N.B., nursery streams, Ph.D. thesis, University of New-Brunswick, Fredericton, NB, 218 p.
- REISER D.W., WESCHE T.A., ESTES C., 1989. Status of instream flow legislation and practices in North America. *Fisheries*, 14, 22-29.
- SCRUTON D., HEGGENES J., VALENTIN S., HARBY A., BAKKEN T.H., 1996. Field sampling design and spatial scale in habitat-hydraulic modelling : Comparison of three models. *Ecohydraulics 2000*, Volume B, pp. 307-321.
- SOUCHON Y., TROCHERIE F., FRAGNOUD E., LACOMBE C., 1989. Les modèles numériques des microhabitats des poissons : application et nouveaux développements. *Revue des Sciences de l'Eau*, 2, 807-830.
- STRAHLER A.N. 1964. Quantitative geomorphology of drainage basins and channel networks, section 4-II, in Handbook of Applied Hydrology, ed. by V.T. Chow, pp. 4-39, 4-76, McGraw-Hill, NY.
- TENNANT D.L., 1976. Instream flow regimens for fish, wildlife, recreation and related environmental resources, J.F. Orsborn and C.H. Allman (eds), Proc. Symp. and Spec. Conf. on Instream Flow Needs, Vol. II, Amer. Fish. Soc., Bethesda, MD, pp. 359-373.

USFWS, 1981. Interim Regional Policy for New England Stream Flow Recommendations, Memorandum from H.N. Larsen, Director, Region 5 of US Fish and Wildlife Service, Newton Corner, Massachusetts, 3 p.

VALENTIN S., WASSON J.G., PHILIPPE M., 1995. Effects of hydropower peaking on

epilithon and invertebrate community trophic structure, *Regulated Rivers: Research and Management*, 10, 105-109.

WESCHE T.A., RECHARD P.A., 1980. A Summary of Instream Flow Methods for Fisheries and Related Research Needs, Water Resources Research Institute, University of Wyoming, Laramie, WY, 122 p.